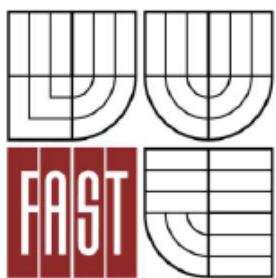




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

STUDIUM VLASTNOSTÍ VLÁKNOCEMENTOVÝCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

STUDY OF PROPERTIES OF FIBRE-CEMENT COMPOSITES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. MAREK HOŠKO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LENKA BODNÁROVÁ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Marek Hoško
Název	Studium vlastností vláknocementových kompozitních materiálů
Vedoucí diplomové práce	Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Firemní materiály firmy Cembrit a.s.

ČSN EN 494 ed. 2 Vláknocementové vlnité desky a tvarovky - Specifikace výrobku a zkušební metody

ČSN EN 492 ed. 2 Vláknocementové desky a tvarovky - Specifikace výrobku a zkušební metody

ČSN EN 12467 ed. 2 Vláknocementové ploché desky - Specifikace výrobku a zkušební metody

Bodnárová, L. Kompozitní materiály, učební opora VUT Brno, FAST, 2007

Sborníky z tuzemských a zahraničních konferencí (2009-2014), České a zahraniční technické normy, Internetové zdroje

Zásady pro vypracování

Vláknocement je používán zejména pro výrobu střešní krytiny a fasádních desek. Předním výrobcem vláknocementu je firma Cembrit a.s.

Diplomovou práci zpracujte ve spolupráci s firmou Cembrit a.s.

Cílem práce je definování klíčových parametrů pro zajištění kvalitní produkce vláknocementových desek ve firmě Cembrit a.s.

Na základě rešerší doporučené literatury sumarizujte informace o vlastnostech vláknocementových výrobků a o požadavcích na jakost a trvanlivost vláknocementové krytiny.

V experimentální části diplomové práce proveďte v provozních podmínkách firmy Cembrit a.s. sledování vlivu jednotlivých technologických kroků výroby surové desky na finální kvalitu povrchových úprav vláknocementové desky.

Proveďte hodnocení kvality povrchových úprav vláknocementové krytiny z produkce firmy Cembrit a.s. v závislosti na nastavení výroby surové vláknocementové desky.

S ohledem na provozní podmínky firmy Cembrit a.s. navrhnete metody pro hodnocení homogeneity vláknocementových materiálů.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt:

Práce se zabývá sumarizací poznatků týkajících se problematiky vláknocementových výrobků. Jsou zde charakterizovány vstupní suroviny, technologie výroby, vlastnosti vlnité vláknocementové krytiny, povrchové úpravy a možné příčiny poruch při barvení. Experimentální část práce je rozdělena na dvě části. V části A jsou stanovovány možné příčiny vzniku vad a část B popisuje problematiku nedostatečné přídržnosti povrchové úpravy na vlnitých vláknocementových deskách.

Teoretická část v úvodu popisuje problematiku vláknocementových kompozitních materiálů, jejich vlastnosti, suroviny pro výrobu a možné využití vláknocementu pro stavební účely. V první kapitole je popsána historie výroby vláknocementu v Čechách a na Moravě a používání vláknocementové krytiny od počátků výroby. Druhá kapitola věnuje pozornost vstupním surovinám pro výrobu vláknocementových desek. Mezi tyto suroviny patří cement, celulóza, výztužná vlákna, mikroplniva, pigmenty, přísady a voda. Cement je zde charakterizován z hlediska mineralogického a chemického složení slinku, dále jsou v této kapitole charakterizovány směsné cementy a cementy, které se používají pro výrobu vláknocementové střešní krytiny. Vláknová výztuž je rozdělena na výztužná vlákna a procesní vlákna. Mezi popisovaná výztužná vlákna patří PVA vlákna a PP vlákna. Jako procesní vlákna používaná pro výrobu vláknocementové střešní krytiny se používají vlákna celulózová. V kapitole mikroplniva jsou charakterizovány nejčastěji používané materiály pro výrobu, a to mikrosilika a mletý vápenec.

V třetí kapitole je popisována technologie výroby vláknocementové střešní krytiny Hatschekovou metodou. Jsou zde popsány jednotlivé technologické kroky, mezi které patří příprava nekonečného filtračního koberce, lisování, řezání, zvlhňování a vytvrzování. Pozornost je věnována zejména tvorbě filtrační vrstvy. Jako další možný způsob výroby vláknocementových výrobků je v této práci uváděna extruze.

Čtvrtá kapitola věnuje pozornost vlastnostem vláknocementových výrobků. V této kapitole jsou popisovány vlastnosti jako pevnost, stálost a odolnost proti povětrnostním vlivům. V této kapitole je popisováno zdravotní riziko azbestu a jeho účinky na člověka. Následující kapitola popisuje zkoušení vláknocementové střešní krytiny vybranými zkouškami z normy ČSN EN 494.

V šesté kapitole jsou charakterizovány povrchové úpravy na vláknocementové střešní krytině. Mezi používané povrchové úpravy patří clonování (polévání clonou) a stříkání. Jsou zde popsány výhody a nevýhody těchto způsobů aplikace nátěrové hmoty. Sedmá kapitola popisuje možné poruchy vznikající při barvení.

Praktická část práce je rozdělena na dvě části, část A a část B. Cílem praktické části A bylo identifikovat možné příčiny vzniku vad. Tato vada se objevuje při barvení desek prakticky ihned po průchodu clonou barvy. Po nabarvení desky se na jejím povrchu vytvoří bublinka, která praská a zanechává za sebou porušený povrch akrylátové nátěrové hmoty. Tato vada se však vyskytuje naprosto nepravidelně a předpoklad jejího výskytu je značně obtížný.

Cílem praktické části B bylo vyřešit nedostatečnou přídržnost akrylátové nátěrové hmoty na jednotlivých deskách. Po provedení aplikace povrchové úpravy se na vybraných vzorcích krytiny provádí zkouška přídržnosti pomocí lepící pásky. Výsledky těchto zkoušek byly v jedné části desek naprosto nevyhovující a k odstranění těchto závad musela být odhalena příčina této nízké přídržnosti akrylátové barvy a vláknocementové desky. Po odhalení příčiny bylo navrženo opatření k odstranění této závady a opětovné odzkoušení přídržnosti.

Klíčová slova:

Hatschek proces, vláknocement, vlnitá krytina, extruze, cement, celulóza, povrchové úpravy.

Abstract:

The work deals with the summarization of experience concerning fiber cement. There are characterized feedstock, production technologies, properties corrugated fiber cement roofing, finish and possible causes of failure in dyeing. The experimental part of the work is divided into two parts. In Part A are determined possible causes fish eyes and Part B describes the problem of insufficient adhesion of the coating on corrugated fiber cement boards.

The theoretical part of the introduction describes the problem of fiber composite materials, their properties, raw materials for production and possible use of fiber cement for construction purposes. The first chapter describes the history of manufacturing fiber cement in Bohemia and Moravia and the use of fiber-cement roofing from the start of production. The second chapter pays attention to the feed material for the production of fiber-cement boards. These raw materials include cement, cellulose, reinforcing fibers mikroplniva, pigments, additives and water. Cement is characterized here in terms of mineralogical and chemical composition of the clinker, further in this chapter characterized blended cements and cements which are used to produce fiber-cement roofing. The fiber reinforcement is divided into reinforcing fibers, and fiber processing. Among described reinforcing fibers include PVA fibers and PP fibers. The process fibers used for producing fiber cement roofing cellulosic fibers are used. Chapter mikroplniva are the most frequently used materials for production, and microsilica, and ground limestone.

The third chapter is described technology fiber roofing Hatschekovou method. Also, the individual process steps, which include the preparation of the endless filtering carpets, stamping, cutting, corrugating and curing. Attention is focused on the creation of the filter layer. As another possible method of manufacturing fiber cement in this work is shown extrusion.

The fourth chapter pays attention to the characteristics of fiber cement. This chapter describes the properties such as strength, durability and weather resistance. This chapter covers the health risks of asbestos and its effects on humans. The following section describes the testing of fiber-cement roofing selected tests from the CSN EN 494th

In the sixth chapter are characterized by the coating on fiber roofing. Among the used surface treatments include clonování (irrigation) iris and spraying. There are described advantages and disadvantages of these methods for applying coatings. The seventh chapter describes the possible failures resulting in staining.

The practical part is divided into two parts, Part A and Part B. Part A practical aim was to identify possible causes of defect. This defect occurs during dyeing boards almost immediately after the passage orifice color. After painting the plate to the surface formed bubbles bursting, leaving a broken surface of the acrylic paint. This defect occurs, however, quite irregularly and the assumption of its occurrence is very difficult.

The practical part B was to address the lack of adhesion of acrylic paint on individual plates. After the application finishes on selected samples covering the adhesion test is performed with tape. The results of these tests were in one of the panels completely inconvenient to remove these defects had to be revealed to the cause of this low adhesion of acrylic paint and cement boards. Following the discovery of the cause of action was designed to eliminate the error and re-testing of adhesion.

Keywords:

Hatschek process, fiber cement, corrugated roofing, extrusion, cement, cellulose, finishes.

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Marek Hoško *Studium vlastností vláknocementových kompozitních materiálů*. Brno, 2014. 94 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8.12.2014

.....
podpis autora
Bc. Marek Hoško

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Lence Bodnárové, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěla k vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vítovi Gromešovi a dalším zaměstnancům ústavu THD a firmy Cembrit a. s. závod Šumperk za pomoc při vypracování.

Obsah:

I. Teoretická část	12
Úvod	12
1. Historie	13
2. Vstupní suroviny	13
2.1 Cement	13
2.2 Vlákna	17
2.3 Mikroplniva	22
3. Technologie výroby	25
3.1 Hatschek proces	25
4. Vlastnosti vláknocementových výrobků	26
4.1 Zdravotní hledisko	26
4.2 Vlastnosti vlnité vláknocementové krytiny	27
7.5 Porušení soudržnosti mezi vrstvami	28
7.6 Porušení soudržnosti uzavřením vlhkosti	28
II. Praktická část	29
1. Úvod	29
Část A – Identifikace vad povrchu	29
2. Metodika jednotlivých zkoušek	29
2.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)	29
2.2 Diferenční termická analýza (DTA)	32
2.3 Infračervená spektroskopie (IR)	35
2.4 Nasákavost	37
2.5 Změna vlhkosti při zahřívání	38
2.6 Optická mikroskopie	38
2.7 Elektronová mikroskopie	41
Část B – Přídržnost nátěrové hmoty	42
Závěr	44
Seznam použité literatury:	45
Použité zkratky	48

I. Teoretická část

Úvod

Vláknocement je ideálním stavebním materiálem pro ochranu vnějšího pláště budov, používá se pro pokrývání střech a na obklady fasád novostaveb i při rekonstrukcích. Dnešní vláknocementová krytina je již nesrovnatelná s tou, která se vyráběla před 30 až 40 lety. Pro výrobu vláknocementové střešní krytiny se používají suroviny neutrální vůči životnímu prostředí jako je cement, voda, mletý vápenec, mikrosilika, buničina a syntetická vlákna. Kombinace těchto surovin dává možnost vzniku nehořlavému stavebnímu materiálu, který je vhodný pro každý typ budovy a pro jakoukoliv její výšku. Vláknocement spojuje stavebně-technické vlastnosti jako je pevnost, stálost, nebo odolnost proti povětrnostním vlivům se snadnou zpracovatelností, hospodárností a ekologickou bezpečností. Je odolný proti kapalinám, mrazu, hnilobě, korozi a může se zpracovávat nástroji běžnými na staveništi. Nejčastěji řešenou otázkou týkající se vláknocementových výrobků je ekologická bezpečnost. V minulosti byl pro výrobu vláknocementu používán azbest, který jak se později ukázalo, je karcinogenní a způsobuje vážné zdravotní komplikace. Vlákná azbestu mají průměr menší než 3 μm , a proto dochází ke vdechování těchto vláken, která způsobují vznik pleurálního onemocnění, které je však pozorovatelné až po 15 až 30 letech expozice azbestem. Proto byla azbestová vlákna nahrazena vlákny syntetickými a buničinou, u kterých toto zdravotní riziko není pozorováno. V současné době je však ve stavbách zabudováno stále velké množství výrobků obsahujících azbest. Při práci s těmito výrobky platí velmi přísná bezpečnostní pravidla a nakládání s těmito materiály se řídí příslušnou legislativou. Cílem teoretické části práce je sumarizovat informace o vlastnostech vláknocementových výrobků a požadavcích na jakost a trvanlivost vláknocementové krytiny.

1. Historie

Azbestocementové výrobky byly v Čechách a na Moravě vyráběny již od roku 1910. Vlastní patent na výrobu této krytiny podal Ludwig Hatschek v roce 1901. Sám L. Hatschek nazval své výrobky „eternitem“, což v překladu znamená „věčně trvající“. Krytina slavila poměrně rychle velký úspěch, protože byla lehká a bylo ji možno použít i v náročných klimatických podmínkách, kde nebylo možné použít krytinu pálenou. Do devadesátých let byl na výrobu této krytiny používán azbest. Vlákná azbestu byla označena jako zdraví škodlivá, proto byla tato vlákna nahrazena vlákny buničiny, syntetickými vlákny a dalšími přísadami. Vznikl tak ekologicky čistý výrobek. Od roku 1996 je nahrazena azbestocementová technologie technologií vláknocementovou – bezazbestovou.

2. Vstupní suroviny

Výchozí suroviny pro výrobu vláknocementu jsou cement, celulóza, výztužná vlákna, mikroplnivo, pigmenty, přísady a voda. Výroba probíhá modifikovanou Hatschekovou technologií.

2.1 Cement

Cement je práškové hydraulické pojivo, které obsahuje jemně rozemletý slínek s přísady a příměsí. Po smíchání s vodou vzniká kaše, která tuhne a tvrdne na vzduchu i ve vodě. Slínek může být portlandský, nebo hlinitanový. Portlandský slínek je zrnitá látka, která obsahuje kalciumsilikáty, kalciumalumináty a kalciumaluminátferity. Portlandský slínek se vyrábí pálením jemně rozemleté suroviny s vhodným složením při teplotách nad hranicí slinutí, která se pohybuje okolo 1450 °C. Portlandský slínek je chemicky tvořen CaO , SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 . V menším množství obsahuje také MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Cr_2O_3 a případně ještě další oxidy.

2.1.1 Charakteristika portlandského slínku

Portlandský slínek můžeme charakterizovat:

- obsahem jednotlivých oxidů (chemickým složením)
- vzájemnými poměry procentuálních obsahů hlavních oxidů (moduly)
- obsahem slinkových minerálů

Chemické složení portlandského slinku se pohybuje v širokých rozpětích. Obsah hlavních oxidů CaO , SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 bývá 95 až 97 %. Druh a množství dalších oxidů ve slinku závisí na druhu suroviny. V obyčejném portlandském slinku se obsah oxidů pohybuje v těchto intervalech:

• CaO	63 – 66 %	MgO	0,5 – 6,0 %
• SiO_2	21 – 24 %	SO_3	0,3 – 1 %
• Al_2O_3	4 – 8 %	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0,4 – 1 %
• Fe_2O_3	2 – 4 %	TiO_2	0,2 – 0,5 %
• P_2O_5	0,1 – 0,3 %		

Cementy vyrobené z portlandského slinku s vyšším obsahem vázaného CaO rychleji tuhnou a tvrdnou, mají vyšší počáteční a dlouhodobou pevnost, vyšší hydratační teplo a menší odolnost proti účinkům agresivní vody. Vyšší obsah SiO_2 ve slinku poukazuje na pomalejší tvrdnutí cementu v počátečním stádiu. Při dlouhodobém ošetřování tento cement dosahuje vysoké pevnosti. Tento cement vykazuje zvýšenou odolnost proti agresivním látkám. Zvýšený obsah Al_2O_3 ve slinku svědčí o rychlejším tvrdnutí cementu v počátečních stádiích ošetřování. Nižší odolnost vykazují tyto cementy proti síranům. Sloučeniny Fe_2O_3 snižují teplotu slinování. Cementy, které jsou bohaté na Fe_2O_3 a mají menší obsah Al_2O_3 , se chovají jako vysokokřemičité. Tyto cementy mají vysokou odolnost proti působení síranových vod. Zvýšený obsah MgO ve slinku může způsobovat nerovnoměrné objemové změny cementu. Přítomnost SO_3 v cementu je důležitá pro regulaci tuhnutí cementu. Obsah SO_3 v cementu je limitovaný. Oxidy Na_2O a K_2O se ve slinku nacházejí v množství do 1 %. Obsah těchto oxidů může způsobit nerovnoměrné tuhnutí a tvorbu výkvětů na povrchu malt a betonů.

2.1.2 Mineralogické složení slinku

Výroba cementu je charakterizována vysokými teplotami a přítomností kyslíku. Při tvorbě slinkových minerálů se proto všechny zúčastněné prvky nacházejí v podobě oxidů. To umožňuje považovat oxidy za základní stavební kameny cementového slinku. Přehled slinkových minerálů a jejich vlastností uvádí následující tabulka.

Tab. 1: Přehled hlavních složek v cementářském slinku

Název	Vzorec	Slovní označení	Obsah [%]	Hydratační teplo [kJ/kg]	Hydratace
Trikalciumsilikát	C_3S	alit	35 – 75	500	rychlá
Dikalciumsilikát	C_2S	belit	5 – 40	250	střední
Trikalciumaluminát	C_3A	-	3 – 15	910	velmi rychlá
Tetrakalciumaluminátferit	C_4AF	brownmillerit	9 - 14	420	rychlá

Trikalciumsilikát nabývá pevnosti převážně v počáteční době 28 dní. Jeho vyšší obsah je proto žádoucí pro rychlé dosažení pevností. Alitový cement je proto všeobecně používaným typem cementu. Rovněž rychlovazné cementy mají obsah C_3S co nejvyšší. Dikalciumsilikát, který z větší části vytvrzuje naopak až po 28 dnech, se ve zvýšené míře uplatňuje v belitovém cementu s nízkým hydratačním teplem, jenž se používá při betonáži masivních konstrukcí. Specifickou vlastností trikciumaluminátu je jeho citlivost na dodatečné působení síranů. Vsíranovzdorných cementech se musí obsah C_3A ve slinku snižovat. Hydratace trikciumaluminátu probíhá tak rychle, že by ztěžovala zpracování čerstvého betonu. Právě kvůli C_3A se do cementu přimílá sádrovec, který rychlost hydratace C_3A zpomaluje. Brownmillerit neboli celit se vyznačuje pomalejším růstem pevností a nižším vývinem hydratačního tepla.

Malé množství CaO je ve slinku přítomno v nevázané formě jako volné vápno. S ohledem na teplotu výpalu slinku se jedná o mrtvě pálené vápno, které reaguje s vodou jen neochotně. K jeho dohašování proto dochází až po dlouhé době a objemový nárůst uvnitř vytvrzeného cementu, vyvolaný tvorbou $Ca(OH)_2$, vede k tvorbě trhlin. Přípustné množství volného vápna je proto omezeno na 4 %. Ze stejného důvodu je nežádoucí větší obsah hořčíku, který ve slinku vystupuje převážně jako volný MgO (periklas). Oxid hořečnatý rovněž hydratuje neochotně a jeho hydratace může vyvolat vznik trhlin. Množství MgO je proto limitováno hodnotou 6 %.

2.1.3 Směsné cementy

U směsného cementu se k slinku přidávají minerální příměsi. Mezi nejvíce používané jemnozrnné minerální příměsi patří elektrárenský popílek, křemičité úlety, vysokopecní struska, přírodní pucolán a popílek. Takovéto typy cementu označujeme jako směsné a jsou děleny podle procentuálního zastoupení jednotlivých složek.

Tab. 2: Druhy cementů dle směsnosti

Druh cementu	Název cementu	Označení	Obsah složek v [%]		
			Slinek	Složka	Plnivo
I.	Portlandský	I	95 – 100	-	0 – 5
II.	Portlandský směsný	II/ A - X	80 - 94	6 - 20	0 – 5
		II/ B - X	65 - 79	21 - 35	0 – 5
III.	Vysokopecní	III/A	33 – 64	36 – 65	0 – 5
		III/B	20 – 34	66 – 80	0 – 5
		III/C	5 - 19	81 - 95	0 – 5
IV.	Pucolánový	IV/A	65 – 89	11 – 35	0 – 5
		IV/B	45 - 64	35 - 55	0 – 5
V.	Směsný	V/A	40 – 64	18 – 30	0 – 5
		V/B	20 - 39	30 - 50	0 – 5

- Označení složek X (místo X se uvede písmeno):
- CEM II: S = struska, D = křemičitý úlet (max. 10 %), P = přírodní a Q = průmyslový pucolán
- V = křemičitý a W = vápenatý popílek, T = kalcinovaná břidlice, L = vápenec.
- CEM IV: křemičitý úlet D, přírodní a průmyslový pucolán P, Q a křemičitý popílek V.
- CEM V: složka je z poloviny tvořena vysokopecní struskou S a z poloviny P, Q, V.

ČSN EN 196 – 1 uvádí 3 normalizované pevnostní třídy cementu 32,5, 42,5, 52,5. Dané číslo vyjadřuje pevnost v tlaku po 28 dnech hydratace. Tato norma rovněž přiřazuje cementům s vysokými počátečními rychlostmi označení R a N označení cementům s normální rychlostí hydratace.

2.1.4 Cementy používané pro výrobu vláknocementové střešní krytiny

Pro výrobu vláknocementových střešních krytin se používají dva druhy cementů:

- Portlandský cement CEM I 42,5 nebo CEM I 42,5 R
- Portlandský cement s vápencem CEM II/A-L 42,5 N

Výběr druhu cementu závisí na typu výrobku, na způsobu vytvrzování, na výrobním zařízení a v některých případech na teplotě vody. Důležitou roli má také dostupnost daného druhu cementu a ekonomické hledisko. Vlastnosti, které jsou důležité při výběru cementu:

- Vývoj hydratačního tepla
- Počátek a konec tuhnutí cementu
- Velikost částic (Blaine)
- Závěrečné pevnostní vlastnosti

2.2 Vláknna

Pro výrobu vláknocementu se používají vlákna výztužná a procesní.

2.2.1 Výztužná vlákna

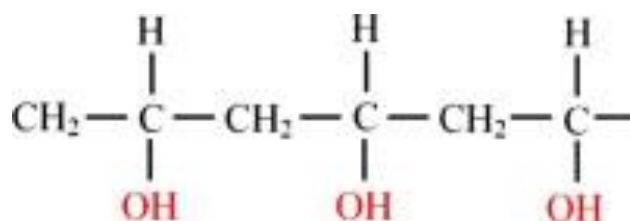
Jako výztužná vlákna se používají nejčastěji vlákna polypropylenová a polyvinylalkoholová vlákna.

2.2.1.1 PVA vlákna

Polyvinylalkohol je bílý prášek krystalického charakteru. Jeho odolnost vůči rozpouštědlům závisí na obsahu nehydrolyzovaného polyvinylacetátu, na střední molekulové hmotnosti, a také na teplotě. Polymer, který obsahuje více než pět procent vinylacetátových jednotek. Čím vyšší je jeho molekulová hmotnost, tím menší je jeho rozpustnost. V olejích není rozpustný ani při vyšších teplotách. Je málo termoplastický. Lze jej použít za teplot od -50°C do 130°C , nad 200°C se rozkládá.

Polyvinylalkohol se vyrábí polymerací vinylacetátu na polyvinylacetát (PVAc) a následně hydrolýzou PVAc na PVA. Polyvinylalkohol obsahuje hydroxilové skupiny, které mají potenciál tvořit vodíkovou vazbu mezi molekulami, což vede k pozoruhodné změně pevnosti vazby mezi PVA vlákny a matricí.

Obr. 1: Chemická struktura PVA vláken



Při použití PVA vláken v betonu nebo cementových kompozitech lze pozorovat několik výhod oproti konkurenčním vláknům z jiných materiálů. PVA vlákna mají vysokou pevnost v tahu, relativně vysoký modul pružnosti, dobrou chemickou kompatibilitu s portlandským cementem, dobrou afinitu s vodou a jsou bez zdravotních rizik.

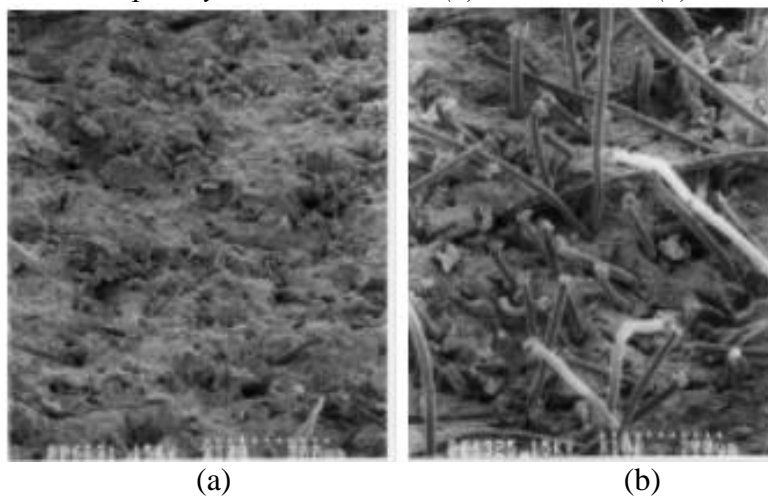
Následující tabulka uvádí vlastnosti PVA vlákna v porovnání s jinými vlákny, které se používají v kompozitních materiálech s cementovou matricí.

Tab. 3: Vlastnosti výztužných vláken pro cementové kompozity

Typ vlákna	Pevnost v tahu [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Protažení [%]	Hustota [kg/m ³]
PVA	880 – 1600	25 - 40	6 – 10	1300
PP	600	5	25	910
Polyethylenová	250 - 700	1,4 – 2,2	10 – 15	950
Ocelová	1200	210	3 – 4	7850
Skleněná	2200	80	0 - 4	2780
Azbestová	620	160	-	2550

Pro vláknocementové výrobky se používají PVA vlákna o tloušťce 0,014 mm s pevností v tahu 1600 MPa, modulem pružnosti 37 GPa a možným protažením 7 %. Jednou z pozoruhodných vlastností PVA vláken je jejich silná vazba s cementovou matricí. Na obr. 4 můžeme vidět vysokou soudržnost PVA vláken s porušeným materiálem. Soudržnost je natolik velká, že při porušení tělesa dojde k přetržení PVA vláken. U PP vláken nelze dosáhnout tak velké soudržnosti, jako je tomu u PVA vláken a tudíž dojde k odhalení PP vláken.

Obr. 2: Porušené lomové plochy zkušebních těles (a) PVA vlákna, (b) PP vlákna



Rostoucí obavy o nebezpečí azbestu při vdechování přinesly PVA vlákna do středu pozornosti jako náhradu za azbestová vlákna. Studie ukazují, že PVA vlákna představují menší riziko než vlákna chryzotilu, protože jsou příliš velké na to, aby se dala dýchat. PVA vlákna nezpůsobují žádnou tkáňovou reakci. Chemická struktura PVA vlákna je založena pouze na uhlíku, vodíku a kyslíku, takže při hoření nevznikají žádné škodlivé látky, jako jsou dioxiny a amoniak. Při hoření vzniká pouze voda a oxid uhličitý.

2.2.1.2 PP vlákna

Polypropylenová vlákna se vyrábí v délkách 5 – 15 mm o průměru 10 – 20 μm . Nejčastější dávkování do malt a betonů na 1 m^3 je v rozmezí 0,6 – 1,0 kg. Díky jejich nízkému modulu pružnosti dochází při zatížení k velké průtažnosti vláken. Největší uplatnění PP vláken je pro zamezení vzniku mikrotrhlin v raných fázích hydratace betonu, v době cca do dvou dnů. Vzniklé mikrotrhliny by zhoršily trvanlivost betonu a omezily jeho fyzikálně-chemické vlastnosti. V pozdějších fázích hydratace PP vlákna už nemají zásadní funkci.

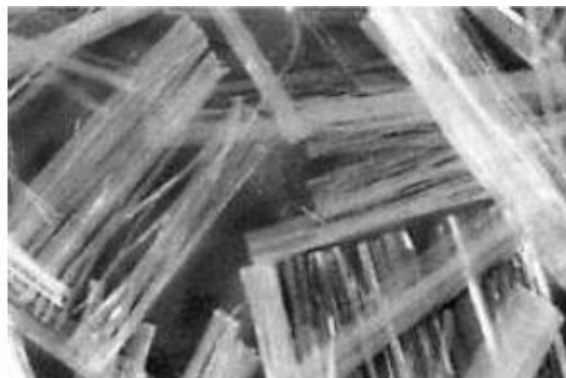
Výztužný účinek PP vláken především ovlivňuje jejich počet a rovnoměrné rozmístění v cementové matici. Povrch PP vláken má dobrou soudržnost s cementovou maticí, je však známo, že soudržnost PVA vláken je řádově vyšší.

V současné době se na trhu vyskytuje několik typů PP vláken. Jejich základní dělení je na monofilamentní vlákna a fibrilovaná vlákna. Monofilamentní vlákna jsou vyráběna jednotlivě a následně dělena na požadovanou délku s hladkým kruhovým průřezem. Fibrilované vlákno je vyráběno z fólie a poté je děleno na požadovanou délku s hranatým průřezem a drsnějším povrchem. Jediná povrchová úprava prováděná u PP vláken je tzv. lubrikace, která zaručí při styku s vlhkostí nebo vodou dokonalé rozdělení jednotlivých pastilek a rozmísení jednotlivých vláken.

Obr. 3: Monofilamentní vlákna



Obr. 4: Fibrilovaná vlákna



2.2.2 Procesní vlákna

Jako procesní vlákna se používají vlákna celulózová. Tyto vlákna absorbují na povrchu cement a ostatní přísady. Pro výrobu vláknocementových výrobků se používají 2 druhy celulózových vláken. Bělená nebo nebělená borovicová vlákna a sulfátová vlákna – vysokopevnostní. Vlastnosti celulózových vláken jsou ověřovány normovými zkouškami:

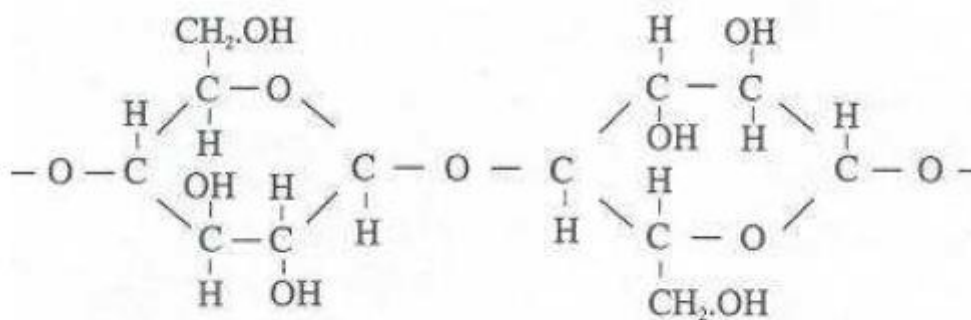
- ISO 5267 – stupeň rozvláknění SR

- ISO 1924 – pevnostní charakteristiky
- ISO 302 – stupeň odvaření – Kappa index
- ISO 6588 – pH

2.2.2.1 Celulóza

Celulóza je přírodní polysacharid složený z β -D-glukopyranosových jednotek lineárně spojených v polohách 1 \rightarrow 4. Řetězce celulózy jsou vzájemně spojeny vodíkovými můstky, které jsou příčinou odolnosti celulózy proti působení vody a běžných rozpouštědel. Název celulóza se často nesprávně používá pro vláknité produkty získané delignifikací dřeva. Tyto produkty vyráběné pro papírenský průmysl se správně nazývají buničina a kromě celulózy obsahují ještě hemicelulózy a zbytky ligninu.

Obr. 5: Chemická struktura celulózy



Molekuly glukózy jsou spojené ve tvaru dlouhých řetězců β -glukozidickou vazbou, proto je molekula celulózy vláknitého tvaru. V celulóзовých vláknech jsou tyto molekuly uloženy rovnoběžně, jsou tedy orientované a toto uložení dává vznik mikrokrytalické struktúře.

Celulóza se získává sulfitovým způsobem, nebo sulfátovým způsobem. Získávání celulózy sulfitovým způsobem se provádí pomocí kyselého siřičitanu sodného a sulfátový způsob spočívá v použití roztoku hydroxidu sodného. Výchozí surovinou je nejčastěji mladé smrkové dřevo (obsahuje malé množství ligninu).

Celulóza je schopná vázat velké množství vody, která se váže vodíkovými vazbami na volné hydroxylové skupiny celulózy. Postupně dochází k nabobtnání a solvataci (rozpuštění) amorfních oblastí, avšak krystalické oblasti zůstávají nezměněné. Silné vodíkové vazby v krystalitech nedovolují solvataci molekulami vody ani jinými běžnými organickými rozpouštědly, což zabraňuje rozpouštění celulózy.

Použití celulóзовých vláken, jako výztužné prostředky pro kompozitní stavební materiály nabízí mnoho výhod oproti skleněným vláknům. Lze vyrábět výrobky s nižší objemovou hmotností a dobrou biologickou rozložitelností. Nicméně, celulóзовá vlákna

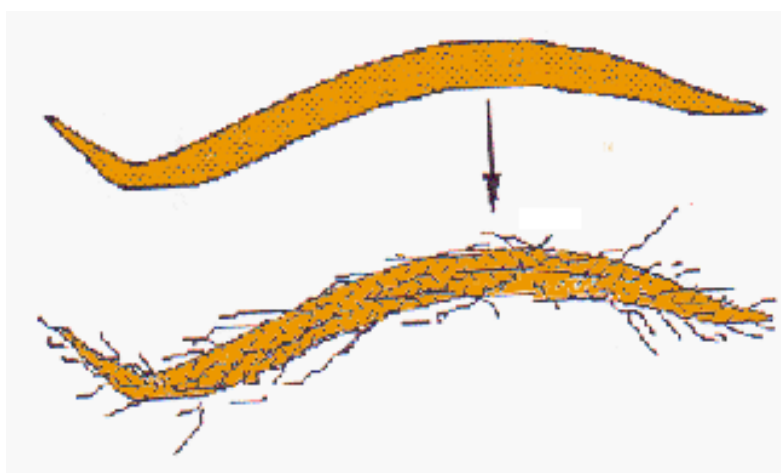
mají i některé nevýhody, mezi které řadíme nízký modul pružnosti, proměnné fyzikální a mechanické vlastnosti a náchylnost k biologickému napadení.

Obr. 6: Vláknina celulózy



Při výrobě vláknocementových výrobků je nejdůležitější dobré rozložení celulóзовých vláken ve vodě. Běžně se tato rozdělení provádí v rozvlákňovači během řízeného času rozvlákňování. Vlastnosti vláken buničiny se modelují v diskových mlýnech. Zde se zvyšuje specifický povrch vláken a zlepšují se technologické parametry procesní vlákniny. Při úpravě vlastností vláken buničiny se vlákna zvětší, stávají se flexibilnější a zvyšuje se plocha vnějšího povrchu vlákna. Vnější struktura vlákna se porouchá a povrch vláken se stává chlupatý.

Obr. 7: Úprava povrchu celulóзовých vláken



2.3 Mikroplniva

Jako mikroplniva se nejčastěji při výrobě vláknocementu používají pecní odprašky (měrný povrch 1000 m²/kg), mikrosilika (měrný povrch 15 000 – 35 000 m²/kg), mletý vápenec (měrný povrch 300 – 400 m²/kg) a případně jiná vhodná mikromletá plniva.

2.3.1 Mikrosilika (Křemičité úlety)

Mikrosilika neboli křemičité odprašky vznikají jako vedlejší produkt při výrobě křemíku, ferrosilicia a dalších slitin křemíku. Jedná se o velmi jemný šedý prášek složený především z amorfního oxidu křemičitého. Obsah SiO₂ se zpravidla pohybuje v rozmezí 80 až 98 %. Při výrobě ferrosilicia jsou přítomny často i jiné prvky, především železo. Částice jsou sférické, vyznačují se průměrem okolo 0,15 μm, přičemž často tvoří shluky.

Z chemického hlediska jsou křemičité úlety tvořeny zejména silikou – SiO₂, proto se křemičité úlety někdy označují jako mikrosilika. Obsah SiO₂ v křemičitých úletech kolísá v závislosti na typu produkované slitiny. Čím vyšší je obsah Si ve slitině, tím vyšší je obsah SiO₂ v křemičitém úletu. Úlet vznikající během výroby čistého křemíku běžně obsahuje více než 90 % SiO₂. Úlet vznikající během výroby 75 % Fe-Si slitiny má obsah SiO₂ větší než 85 %.

Tab. 4 - Typické složení křemičitých úletů v %

	Šedý křemík	Šedé ferrosilicium	Bílé ferrosilicium
SiO ₂	93,7	87,3	90,0
Al ₂ O ₃	0,6	1,0	1,0
CaO	0,2	0,4	0,1
Fe ₂ O ₃	0,3	4,4	2,9
MgO	0,2	0,3	0,2
Na ₂ O	0,2	0,2	0,9
K ₂ O	0,5	0,6	1,3
Ztráta žíháním	2,9	0,6	1,2

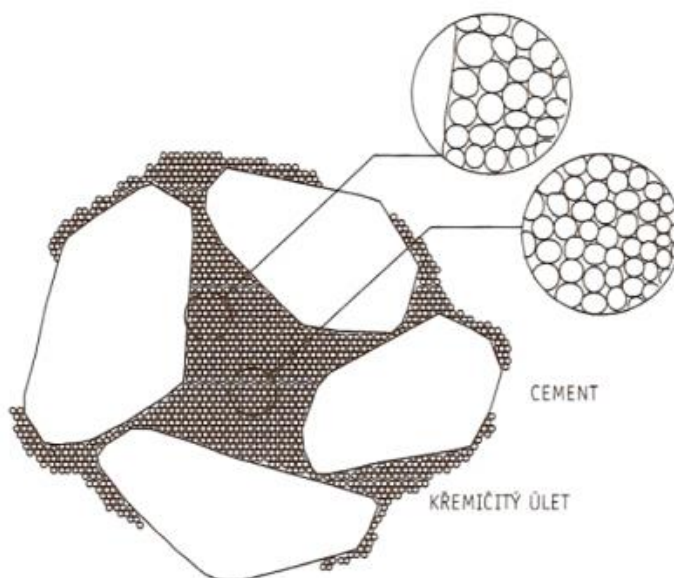
Ze strukturního pohledu jsou křemičité úlety tvořeny zejména sklovitou silikou. Z fyzikálního pohledu se jeví částice křemičitých úletů jako dokonale kulovité s průměrem pohybujícím se v rozmezí 0,1 μm do 1 – 2 μm, takže průměrná částice úletu je cca 100krát menší než průměrné zrno cementu.

Objemová hmotnost křemičitých úletů bývá kolem 2200 kg/m³. Specifický povrch křemičitých úletů nemůže být kvůli jemnosti měřen stejným způsobem jako u portlandského cementu, ale bývá určen prostřednictvím adsorpce dusíku. Typické hodnoty

se pohybují v rozmezí 15000 – 25000 m²/kg. Pokud se stejná metoda použije pro portlandský cement, pohybuje se měrný povrch kolem 1500 m²/kg.

Mikrosilika je využívána pro své pucolánové schopnosti, chemicky reaguje s Ca(OH)₂ vzniklým z hydratace cementu a vytváří dostatek C-S-H. Touto přeměnou dochází ke zvýšení pevnosti v tlaku a chemické odolnosti. C-S-H vzniklé za přítomnosti mikrosiliky je více odolné proti působení agresivních látek jak slabší Ca(OH)₂. Dále vzhledem k mikrorozměrům zrn má značné těsnící schopnosti v mezerách mezi zrny cementu a dalšími jemnými příměsemi. 18 % obsahu mikrosiliky je teoreticky dostatečné pro reakci s Ca(OH)₂ během hydratace cementu, více jak 25 % obsahu dostačuje pro zahuštění struktury tmele.

Obr. 8: Zaplnění prostorů mezi zrny cementu křemičitým úletem

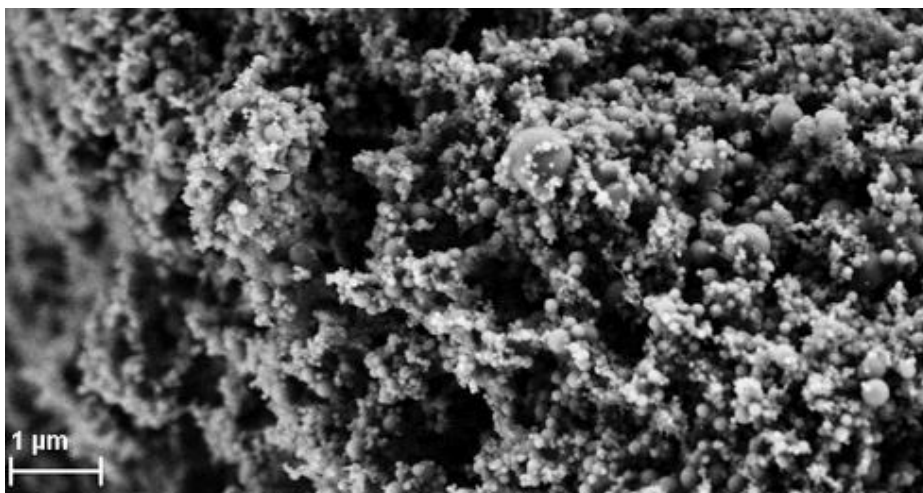


Protože suroviny pro výrobu křemíku nebo ferrosilicia jsou zcela čisté, mívá křemičitý úlet získaný z jedné pece stálé složení. To trvá tak dlouho, dokud se nezmění typ slitiny vyráběné v peci. Kromě toho v dobách, kdy byla většina pecí navržena, byly křemičité úlety považovány za odpadní materiál bez komerční hodnoty, a proto byly úlety vzniklé v různých pecích při výrobě různých slitin smíchány na jedné skládce dohromady. V takových případech mohou být úlety směsí různých typů, rozličného chemického složení a rozdílných pucolánových vlastností. Proto je velmi důležité, aby bylo složení křemičitých úletů regulérním způsobem kontrolováno. Jen tak může být zajištěno stabilní používání tohoto materiálu.

Pozitivní účinek křemičitých úletů na mikrostrukturu a mechanické vlastnosti kompozitního materiálu nespočívá pouze v rychlé pucolánové reakci, ale také ve

fyzikálním účinku částic křemičitých úletů, který je znám jako účinek filleru. Kromě toho mají úlety chemický vliv také ve vztahu na zárodkování krystalů portlanditu ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Obr. 9: Foto mikrosilisy z rastrovacího mikroskopu SEM



2.3.2 Mletý vápenec

Vápenec je hornina typu chemického sedimentu, stejně jako dolomit, rohovec a evaporit. Tyto sedimenty se ukládají vysrážením ze slaných roztoků v mořích nebo na pevnině ve slaných jezerech v oblastech s aridním klimatem. Z hlediska skladby s ohledem na největší zastoupení se jedná o uhličitán vápenatý – CaCO_3 .

Minerální plnivo na bázi uhličitanu vápenatého, které se vyrábí mletím drceného vápence. Na kvalitu mikromletého vápence má vliv jemnost mletí a granulometrie. Nejvýhodnější je frakce $< 0,125$ mm a obecně je požadováno, aby více než 70 % propadlo sítem o velikosti oka 0,063 mm. Čára zrnitosti, tvar a nasákavost minerálního plniva může ovlivnit potřebu záměsové vody.

Po přidavku mikromletého vápence dochází k urychlení hydratace C_3S a C_3A a v tomto důsledku dochází k nárůstu počátečních pevností cementového tmelu. Mezi další výhody vápence patří zvýšení konzistence betonu za použití stejného množství záměsové vody. Tento efekt roste se zvyšující se jemností mletí vápence.

Vliv mikromletého vápence na tvrdnutí betonu má dvojí efekt. V prvním případě to je urychlující efekt, při kterém zrna vápence tvoří zárodky, které zvyšují pravděpodobnost, že se částice rozpuštěné v C-S-H srazí a poté rychleji spojí. Tento efekt je patrný pouze v počátečních stádiích tvrdnutí a po 28 dnech je téměř zanedbatelný. Jako druhý efekt je označován pojící efekt. Pokud cement obsahuje velké množství hlinité fáze, pak vznikají hlinitokřemičitany, které mají pojící schopnost.

Tab. 5: Vymezení vhodného chemického složení mletého vápence

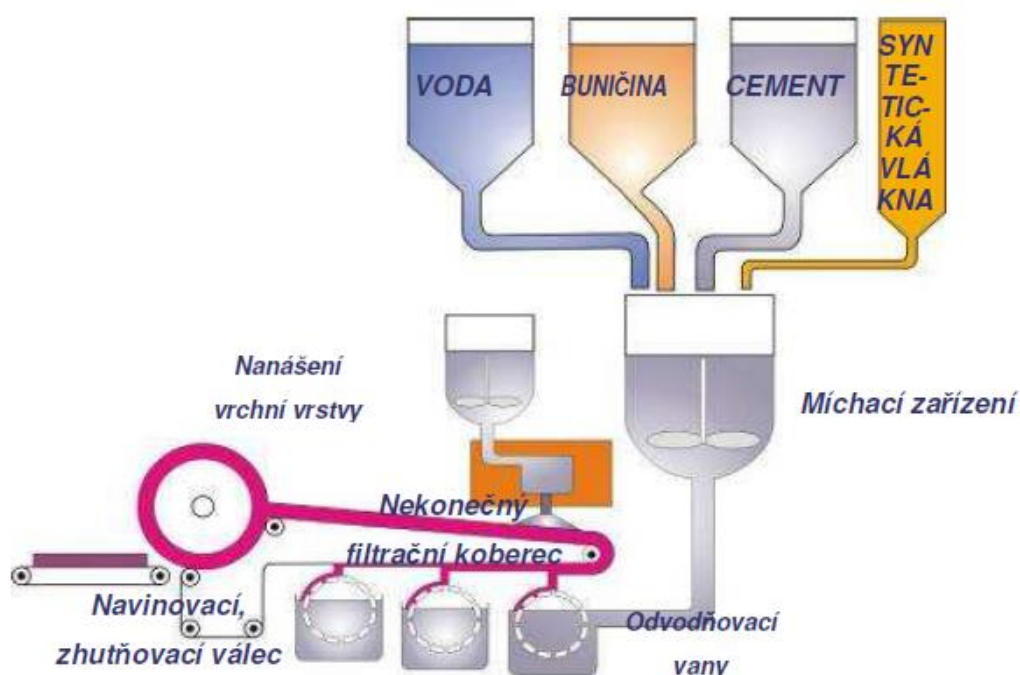
Chemické složení	Max. [%]	Průměr [%]
CaCO_3	98,78	98,78
MgCO_3	0,69	0,60
Fe_2O_3	0,10	0,04
Al_2O_3	0,30	0,04
R_2O_3	0,40	0,08
SiO_2	0,80	0,20
MnO	0,03	0,01
SiO_3	0,10	0,01

3. Technologie výroby

3.1 Hatschek proces

Pro výrobu vláknocementu se používá modifikovaná Hatschekova technologie. Stroj Hatschek na výrobu vláknocementu byl poprvé vyvinut v roce 1890, kdy ho přihlásil k patentovému úřadu Ludwig Hatschek. Stroj se stále používá ve stejné základní podobě dodnes, přestože moderní Hatschek stroje jsou mnohem více produktivní, než byly modely na začátku výroby. Proces Hatschek je zvláště vhodný pro výrobu plochých a vlnitých desek. Tento proces je proces filtrace založený na odvodnění zředěné suspenze přes válcové síto. Tímto způsobem se na síť oddělí primární vrstva sestávající se z vláken, cementu, aditiv, plniv a je převedena na nekonečný filtrační koberec.

Obr. 10: Schéma technologie výroby vláknocementu



4. Vlastnosti vláknocementových výrobků

Vláknocement je ideálním stavebním materiálem pro ochranu vnějšího pláště budov, používá se pro pokrývání střech a na obklady fasád novostaveb i při rekonstrukcích. Vláknocement je pevný, odolný proti kapalinám, mrazu, biologickým vlivům a vůči působení povětrnostních vlivů. Výrobky z vláknocementu lze snadno opracovávat, jsou ekologicky bezpečné a zdravotně nezávadné.

4.1 Zdravotní hledisko

Do devadesátých let byl na výrobu střešní krytiny využíván azbest. Vlákná azbestu byla označena jako zdraví škodlivá, proto byla tato vlákna nahrazena vlákny buničiny, syntetickými vlákny a dalšími přísadami. Vznikl tak ekologicky čistý výrobek. Od roku 1996 je nahrazena azbestocementová technologie technologií vláknocementovou – bezazbestovou.

4.1.1 Azbest

Azbest je skupinové označení přírodních jemně vláknitých materiálů tvořených hydratovanými křemičitany železnato-hořečnatými, nebo hydratovanými křemičitany vápeno-železnato-hořečnatými. Nejběžnějšími azbestovými minerály jsou: amfibol, amozit, krokydolit, chrysotil, aktinolit, antofylit a tremolit.

Společnou vlastností všech azbestů je vláknitá struktura. Délka jejich vlákná mnohonásobně převyšuje jejich průměr. Podle mezinárodních konvencí se za vlákno považuje částice, jejíž poměr délky ku průměru je větší než 3 : 1. Za nejvíce nebezpečná pro zdraví se pak považují vlákna delší než 5 µm o průměru menším než 3 µm. Původně byl za zdravotně nebezpečný považován především chrysotil, dnes se striktní bezpečnostní předpisy týkají všech azbestových mineralů bez výjimky. Nejzávažnějším škodlivým efektem, vyvolaným vdechováním azbestových vláken, je vznik pleurálního nebo peritoneálního mesotheliomu pozorovaný po 15 – 30 letech po expozici azbestem.

Konkrétní výsledky a vyhodnocení měření a zkoušek, včetně záznamů z měření a fotografická dokumentace jsou uvedeny v neveřejné verzi diplomové práce.

4.2 Vlastnosti vlnité vláknocementové krytiny

Vlnitá vláknocementová krytina se používá pro zastřešení zemědělských, průmyslových, bytových a občanských objektů. Minimální sklon je 10^0 . Vlnitá krytina je vhodná i na opláštění obvodových konstrukcí s dodatečným zateplením. Vlnitá vláknocementová krytina má dobrou pevnost, stálost a odolnost proti povětrnostním vlivům. Základní parametry vlnité vláknocementové krytiny uvádí následující tabulka. ^[1]

Obr. 15: Technické vlastnosti výrobků ^[29]

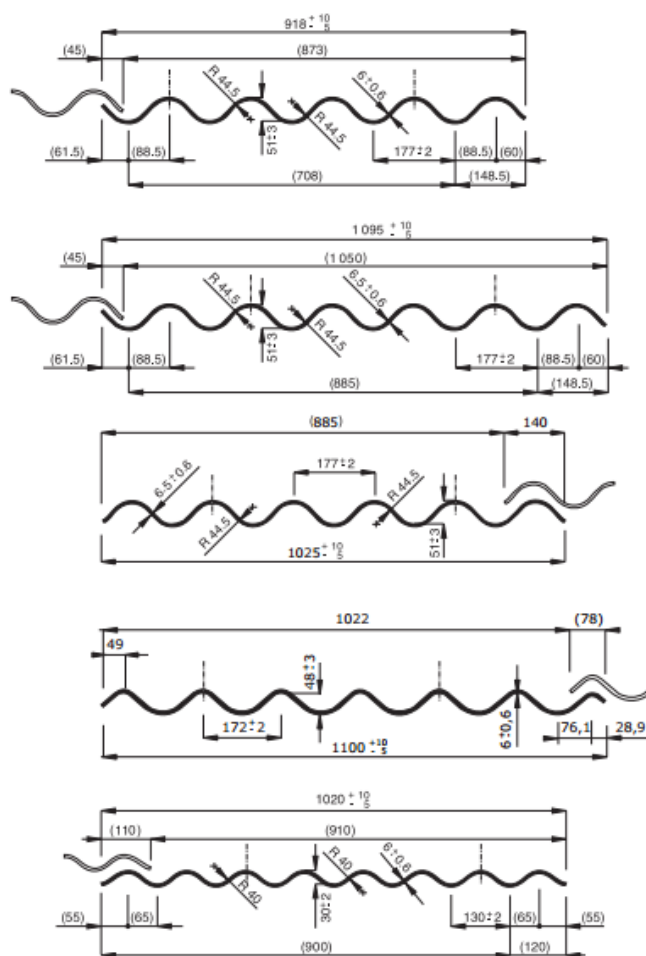
Vlnitá střešní krytina - A5			
Základní rozměry	mm	1 250 × 918	2 500 × 918
Hmotnost vlnité desky	kg	13,95	27,90
Objemová hmotnost	g/cm ³	1,35	
Zařazení dle pevnosti C2X - ČSN EN 494		C2 - 3,5 kN/m	
		X - 55 Nm/m	

Vlnitá střešní krytina - A 6,5 RC *			
Základní rozměry	mm	1 250 × 1 095	2 500 × 1 095
Hmotnost vlnité desky	kg	18,07	36,14
Objemová hmotnost	g/cm ³	1,40	
Zařazení dle pevnosti C1X - ČSN EN 494	C1 - 4,25 kN/m		
	X - 55 Nm/m		

Vlnitá střešní krytina - A 6, A 6 Express		
Základní rozměry	mm	1 220 × 1 025
Hmotnost vlnité desky	kg	16,55
Objemová hmotnost	g/cm ³	1,40
Zařazení dle pevnosti C1X - ČSN EN 494	C1 - 4,25 kN/m	
	X - 55 Nm/m	

Vlnitá střešní krytina - B7 CO-HO, B7 FS		
Základní rozměry	mm	610 × 1100
Hmotnost vlnité desky	kg	9,00
Objemová hmotnost	g/cm ³	1,55
Zařazení dle pevnosti C - ČSN EN 494	C (krátké desky) - 30 Nm/m	

Vlnitá střešní krytina - B 8			
Základní rozměry	mm	1 250 × 1 020	2 500 × 1 020
Hmotnost vlnité desky	kg	14,94	29,87
Objemová hmotnost	g/cm ³	1,40	
Zařazení dle pevnosti B2Y - ČSN EN 494	B2 - 2 kN/m		
	Y - 40 Nm/m		



7.5 Porušení soudržnosti mezi vrstvami

U vícevrstvých systémů se může jedna vrstva oddělit od druhé. Za typické příčiny se považuje nedodržení intervalu mezi nanesením vrstev, znečištění jedné z vrstev a nevhodná předúprava povrchu vrstvy.

7.6 Porušení soudržnosti uzavřením vlhkosti

Pokud vlhkostní podmínky uvnitř cementové matrice způsobí hromadění vlhkosti pod povrchovou ochranou, může se vytvořit tlak dostatečný k porušení soudržnosti ochrany. Hromadění vlhkosti může být vyvoláno hydrostatickým spádem a vlhkostí cementové matrice, tlakem nasycených par vlivem změn teploty, růstem ledových krystalků, nebo tvorbou krystalků soli apod. ^[34]

II. Praktická část

1. Úvod

V rámci praktické části práce byla prováděna analýza velikosti částic cementu pomocí laserového analyzátoru částic a měření velikosti měrného povrchu cementu pomocí Blainova přístroje. Tato měření byla prováděna v laboratoři vstupní kontroly za účelem zjištění vhodnosti vstupní suroviny pro výrobu a výstupy z těchto měření jsou uvedeny v příloze číslo 1 neveřejné verze diplomové práce.

Praktická část práce je rozdělena na dvě části, část A a část B. Cílem praktické části A bylo identifikovat možné příčiny vzniku vady povrchu při barvení desek. Cílem praktické části B bylo hodnotit přídržnost akrylátové nátěrové hmoty na jednotlivých deskách.

Tab 1: Prováděné zkoušky ^[autor]

Zkoušky		
Fyzikálně - chemické	Fyzikálně – mechanické	Optické
Rentgenová difrakční analýza (RTG)	Nasákavost	Optická mikroskopie
Diferenční termická analýza (DTA)	Změna vlhkosti při zahřívání	Elektronová mikroskopie
Infračervená absorpční spektroskopie		Kvantifikace trhlin a nehomogenit

Část A – Identifikace vad povrchu

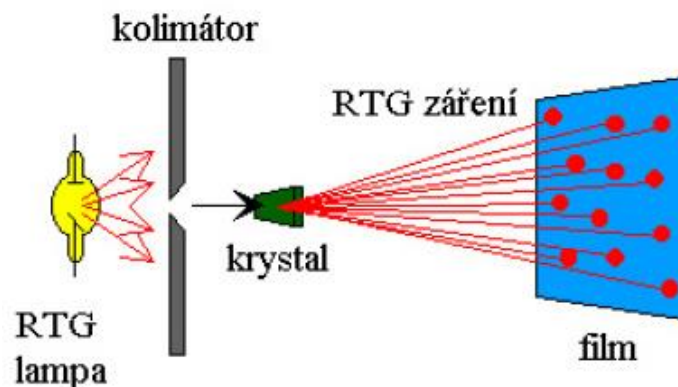
2. Metodika jednotlivých zkoušek

2.1 Rentgenová difrakční analýza (RTG)

2.1.1 Princip metody

Z rentgenové lampy po průchodu kolimátorem dopadá svazek rentgenového záření na krystal. Paprsky difraktované krystalem dopadají na fotografický film. Po vyvolání se na filmu nacházejí uspořádané difrakční stopy odpovídající pravidelnému rozmístění atomů krystalů.

Obr. 3: Vznik difrakčního obrazu ^[35]

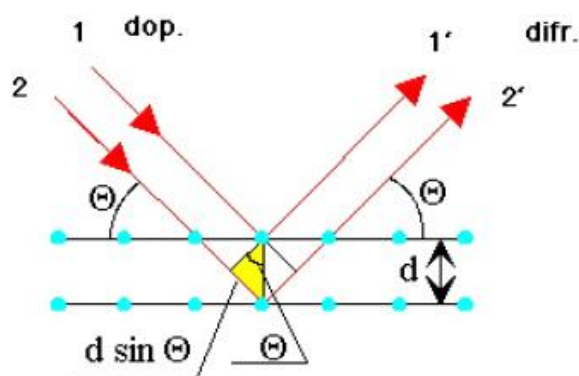


Z analýzy intenzity difrakčních skvrn na filmech lze dospět k závěru, že krystal se chová tak, jako by obsahoval velké množství rovin umístěných jedna za druhou v určitých vzdálenostech.

Jak je patrné z difrakce na mřížce, interferenční maximum difraktovaných paprsků nastává v případě, že jejich dráhový rozdíl je roven celistvému násobku vlnové délky dopadajícího záření. Dráhový rozdíl paprsků 1' a 2' je roven $2d\sin\theta$, kde úhel θ je úhel, který svírá dopadající paprsek s rovinou krystalu. Podmínka pro vznik difrakčních maxim paprsků 1' a 2' je dána vztahem:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

Obr. 4: Schéma skládání RTG paprsků na krystalické mřížce ^[35]



Uvedený vztah je znám jako Braggova rovnice. Známe-li vlnovou délku λ a změříme-li úhel θ , můžeme určit vzdálenosti d krystalových rovin, identifikovaných známými Millerovými indexy (h, k, l) , které udávají polohu rovin v prostorové mřížce. Proto se označení mezirovinné vzdálenosti d těchto rovin podle potřeby doplňuje Millerovými indexy d_{hkl} . Na tomto principu je založena rentgenová difrakční analýza. Jestliže známe hodnoty souboru mezirovinných vzdáleností různých minerálů a známe-li velikosti mezirovinných zkoumané látky, můžeme určit, jaké minerály jsou ve zkoumané látce

obsaženy. Tuto metodu lze tedy využít ke stanovení mineralogického složení všech látek, které mají krystalický charakter. ^[35]

2.1.2 Příprava vzorku pro analýzu

Jednotlivé vzorky pro RTG analýzu byly připraveny vyřezáním vzorku z vláknocementových desek, následně byly vzorky převedeny do velmi jemného práškovitého stavu pomletím a přesátím přes síto o velikosti oka 63 μm . Takto upravený vzorek byl umístěn do nosiče, který má tvar plošné formičky obdélníkového tvaru. Přitlačením krycího skla na vzorek v nosiči byl zarovnán jeho povrch do jedné roviny s povrchem nosiče. Převedením vzorku do jemného práškovitého stavu bylo docíleno toho, že i malý objem analyzované látky sestává z velkého počtu mikroskopických krystalitů, nejrůzněji orientovaných. Vzhledem k velkému množství těchto mikrozrn je i četnost krystalitů, orientovaných souhlasně s rovinou vzorku v nosiči dostačující k průkazné analýze.

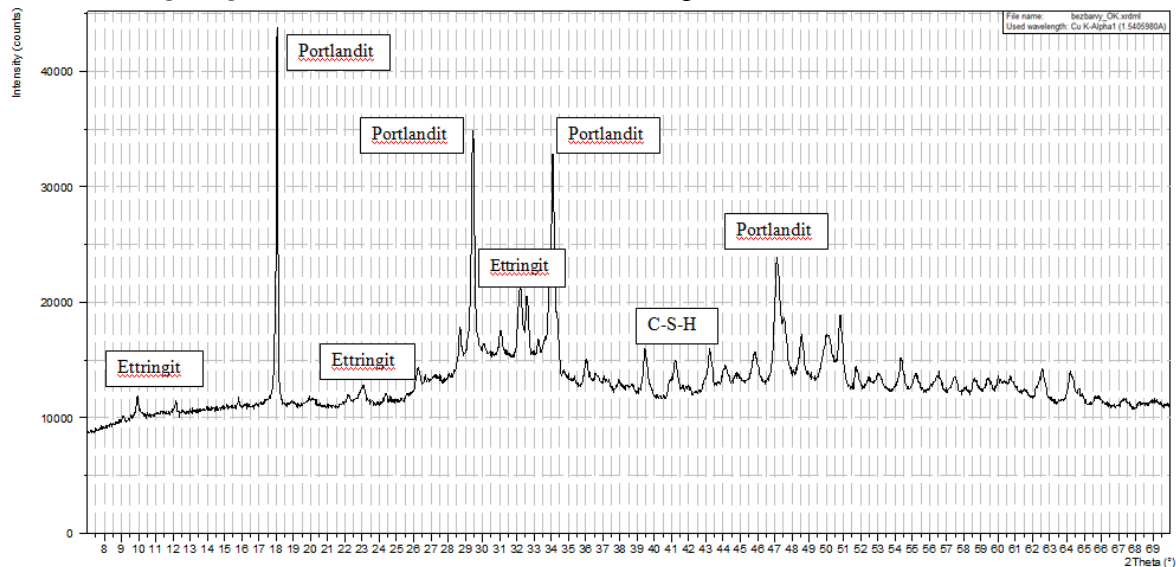
Pro analýzu byly odebrány vzorky z těchto desek:

- bezbarvá deska – bez známek poruch
- bezbarvá deska – porucha
- barvená deska – bez známek poruch
- barvená deska – porucha

2.1.3 Vyhodnocení zkoušky

Z jednotlivých rentgenogramů, které jsou uvedeny níže a které potvrzují výsledky DTA analýzy a IR spektroskopie, je patrné, že příčina vzniku poruch s největší pravděpodobností není způsobena materiálovým složením. Výsledné rentgenogramy jsou téměř totožné a nejsou na nich patrné výraznější odlišnosti. Na výstupu z RTG analýzy můžeme identifikovat následující minerály, které jsou reprezentovány zejména portlanditem, ettringitem a C-S-H fázemi.

Obr. 5: Rentgenogram – bezbarvá deska bez známek poruch ^[autor]



2.2 Diferenční termická analýza (DTA)

2.2.1 Princip metody

Diferenční termická analýza je dynamická, tepelně analytická metoda založená na měření rozdílů teplot mezi zkoušeným vzorkem a inertním standardem současně zahřívány v peci měřicího přístroje.

V průběhu zahřívání dochází u řady látek k reakcím, při kterých je teplo spotřebováváno, nebo naopak uvolňováno. Reakce, při kterých je teplo uvolňováno jsou nazývány jako tzv. exotermní, reakce při kterých je teplo naopak spotřebováváno jsou označeny jako endotermní. Typickým příkladem exotermních reakcí je oxidace, ale například též krystalizace. K endotermním reakcím patří dehydratace, dehydroxilace a tvorba taveniny. Většina těchto reakcí je doprovázena změnou hmotnosti.

Při vlastním měření je tedy analyzovaný vzorek umístěn do pece přístroje, kde je postupně zvyšována teplota. V důsledku nárůstu teploty v peci dochází v analyzovaném vzorku k reakcím, při kterých je teplo buď spotřebováváno – endotermní reakce, případně je teplo uvolňováno – exotermní reakce. Při těchto reakcích je pak zaznamenávána difference mezi teplotou analyzovaného vzorku a inertního standardu.

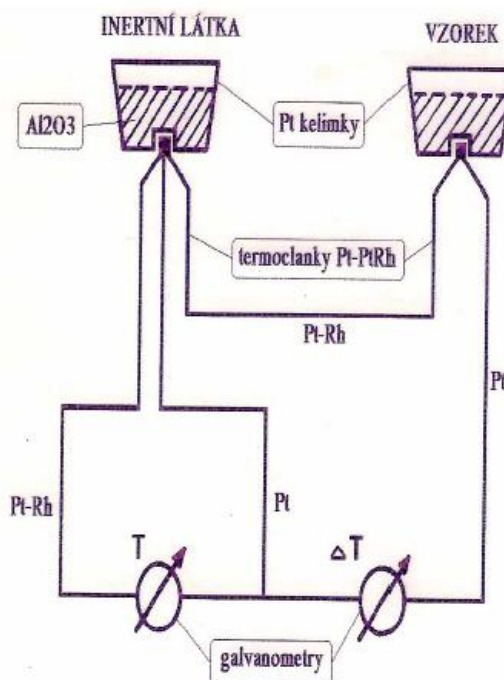
Zařízení pro diferenční termickou a gravimetrickou analýzu se skládá z následujících částí:

- okruh pro diferenční termickou analýzu DTA
- okruh pro termogravimetrickou analýzu TG
- pecní zařízení, které je pro oba tyto okruhy společné

Výstupem měření na derivatografu je záznam, který obsahuje následující křivky:

- DTA křivka – vyjadřuje rozdíl teplot mezi analyzovaným vzorkem a inertním standardem. Zachycuje tedy teplené zabarvení reakcí, tzn. slouží pro stanovení, zda daná reakce byla exotermní, nebo endotermní.
- DTG křivka – je první derivací křivky TG. V mnoha případech je problém jednoznačně určit počátek či konec probíhajících reakcí. K tomuto účelu slouží právě křivka DTG, respektive její inflexní body.
- TG křivka – je křivka, která zachycuje změnu hmotnosti analyzovaného vzorku v závislosti na teplotě. ^[35]

Obr. 10: Schéma uspořádání DTA přístroje ^[35]



2.2.2 Příprava vzorku pro analýzu

Jednotlivé vzorky pro DTA analýzu byly připraveny vyřezáním vzorku z vláknocementových desek, následně byly vzorky převedeny do velmi jemného práškovitého stavu pomletím a přesátím přes síto o velikosti oka $63\ \mu\text{m}$. Způsob přípravy vzorku byl totožný s přípravou vzorku pro RTG analýzu. Při přípravě vzorku bylo nutné dbát na to, aby byl vzorek dostatečně homogenní, a korektním způsobem reprezentoval vláknocementový materiál. Velikost navážky vzorku o hmotnosti přibližně 1 gramu se umístila do korundového kelímku, který byl osazen na rameno vah v peci. Pro DTA

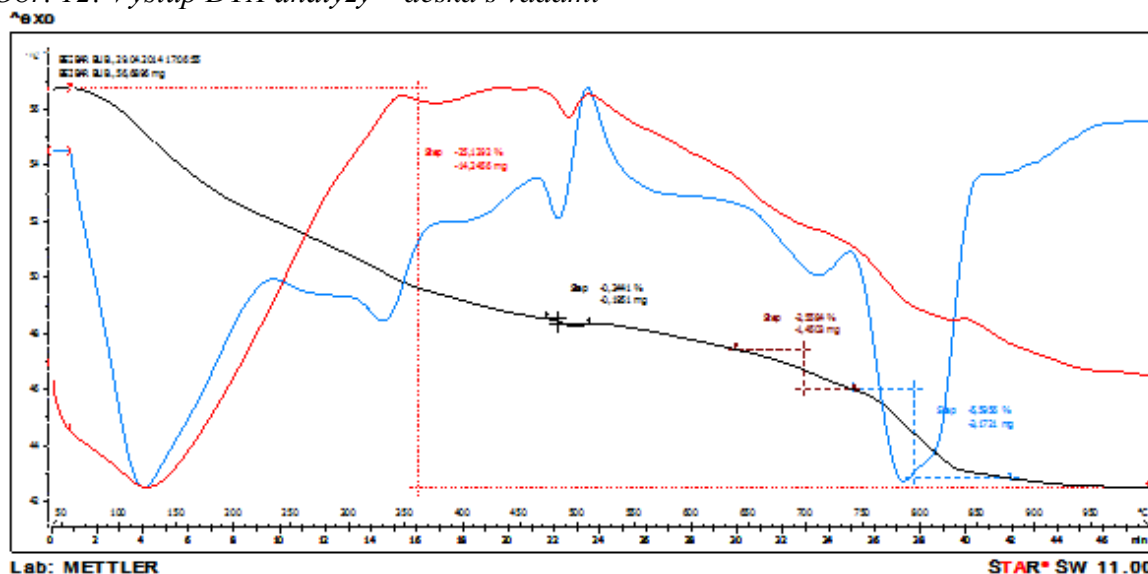
analýzu byly odebrány 2 vzorky, a to z desky, na které byly patrné vady a z desky, která byla v pořádku a nevykazovala žádné vady.

2.2.3 Vyhodnocení zkoušky

Při hodnocení vláknocementového materiálu byla jako další metoda zvolena DTA analýza. Z níže uvedených výstupů je patrné, že se zkušební vzorky odlišují velmi nepatrně, podobně jako u výsledku RTG analýzy a IR spektroskopie, a lze je tedy po materiálové stránce s největší pravděpodobností prohlásit za totožné.

Na záznamu DTA analýzy jsou zřetelné čtyři výraznější endotermní efekty a jeden, nepřiliš výrazný, exotermní efekt. První endotermní efekt lze přisuzovat synergii působení odchodu fyzikálně vázané vody a rozkladu C-S-H fází. Druhý endotermní interval lze přisuzovat rozkladu portlanditu. Mezi prvním a druhým endotermním intervalem se nachází exotermický efekt, který je způsoben rozkladem organické části ve vzorku, tedy PVA vláken. Třetí a čtvrtý endotermní efekt je pak způsoben rozkladem různých fází uhličitánů vápenatých. Při relativně nižších teplotách (třetí endotermní efekt) dochází k rozkladu tzv. jemnozrnných modifikací uhličitánů vápenatých (aragonit, vaterit). Poslední endotermní efekt je způsoben rozkladem hrubozrnných forem uhličitánů vápenatých (kalcit).

Obr. 12: Výstup DTA analýzy – deska s vadami ^[autor]



2.3 Infračervená spektroskopie (IR)

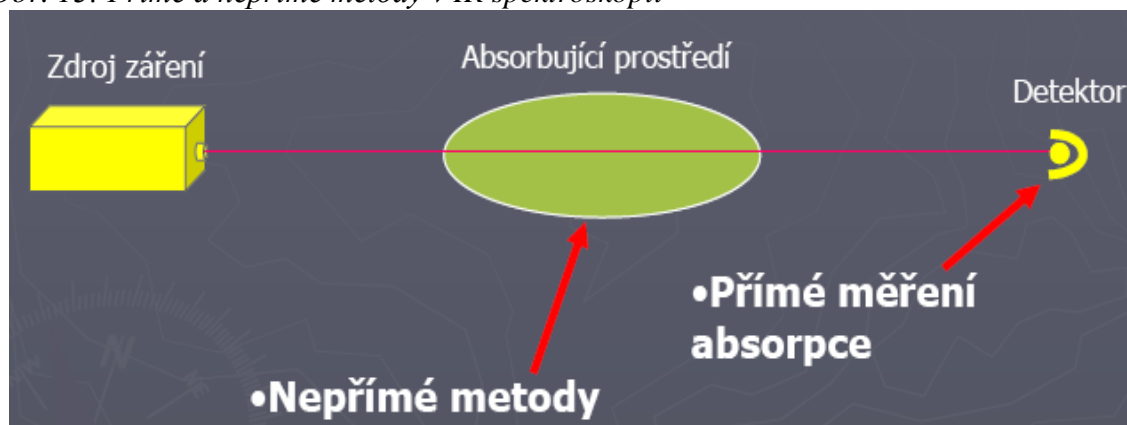
2.3.1 Princip metody

Infračervená spektroskopie je analytická technika určená především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin a také pro stanovení anorganických látek. Tato technika měření je založena na pohlcení infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Infračerveným zářením je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek 0,78 – 1000 mm, což odpovídá rozsahu vlnočtů $12800 - 10 \text{ cm}^{-1}$. Celá oblast bývá rozdělena na blízkou ($13000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$), střední ($4000 - 200 \text{ cm}^{-1}$) a vzdálenou infračervenou oblast ($200 - 10 \text{ cm}^{-1}$), přičemž nejpoužívanější je střední oblast.

Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem, při níž dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie, většinou vyjádřené v procentech transmitance (T) nebo jednotkách absorbance (A) na vlnové délce dopadajícího záření. Transmitance (propustnost) je definována jako poměr intenzity záření, které prošlo vzorkem (I), k intenzitě záření vycházejícího ze zdroje (I_0). Absorbance je definována jako dekadický logaritmus $1/T$. Závislost energie na vlnové délce je logaritmická, proto se používá vlnočť, který je definován jako převrácená hodnota vlnové délky a tedy uvedená závislost energie na vlnočťu bude funkcí lineární.

Absorpční pásy mají vrcholy v intervalu $4000 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ a jsou vhodné pro identifikaci funkčních skupin (např. $-\text{OH}$, $\text{C}=\text{O}$, N-H , CH_3). Pásy v oblasti $1500 - 400 \text{ cm}^{-1}$ jsou nazývané oblastí „otisku palce“. Pomocí „Search programů“ a digitalizovaných knihoven infračervených spekter je možno identifikovat neznámou analyzovanou látku. V současné době se objevují software, které umožňují simulovat infračervené spektrum organických molekul. ^[36]

Obr. 13: Přímé a nepřímé metody v IR spektroskopii ^[36]



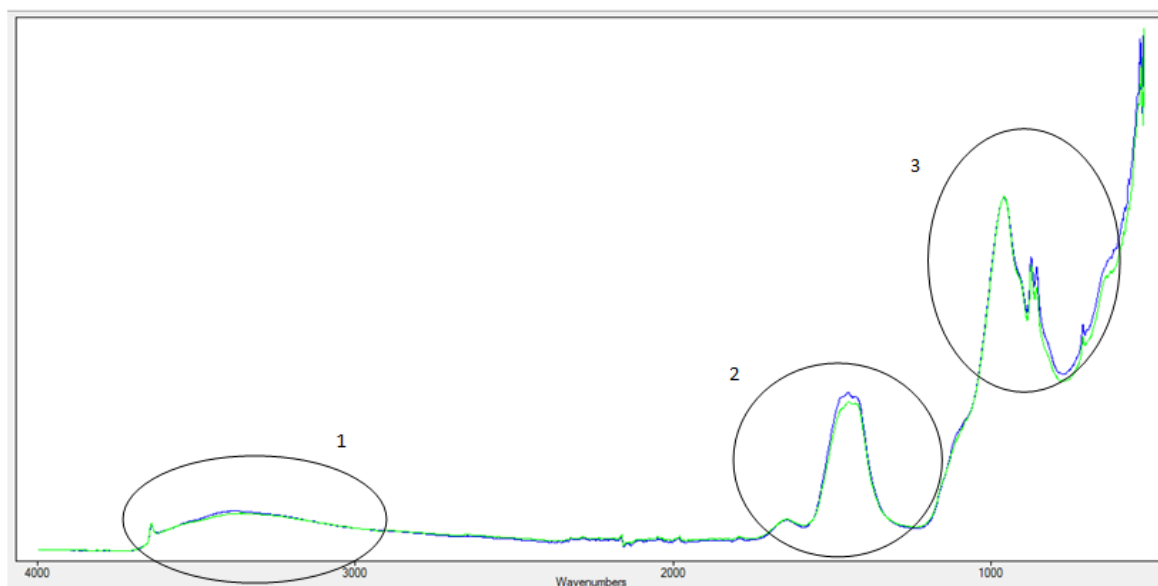
2.3.2 Příprava vzorku pro analýzu

Způsob přípravy vzorku pro IR spektroskopii byl totožný se způsoby příprav vzorků v předcházejících stanoveních. Jednotlivé vzorky pro IR spektroskopii byly připraveny vyřezáním vzorku z vláknocementových desek, následně byly vzorky převedeny do velmi jemného práškovitého stavu pomletím a přesátím přes síto o velikosti oka 63 μm . Směs byla lisována v ocelové raznici za sníženého tlaku (ve vakuu) maximálním tlakem cca 80 kN na transparentní tabletu s tloušťkou cca 0,5 mm. Tableta se uchytla do držáku a instalovala do měřicího zařízení.

2.3.3 Vyhodnocení zkoušky

Na níže uvedeném spektrogramu jsou patrné tři oblasti o vysoké intenzitě spektrálních pásů. Oblast 1 na vlnočtu 3700-3000 cm^{-1} patří širokému pásu vlhkosti a volných OH skupin. Oblast 2 (1700 -1320 cm^{-1}) a oblast 3 (1200-780 cm^{-1}) obsahuje několik silných spektrálních pásů valenčních a deformačních vibrací silikátových vazeb. Spektrogramy vzorků nevykazují zásadní odlišnosti. Chemickou strukturu obou vzorků lze prohlásit za totožnou.

Obr. 14: Výsledný spektrogram ^[autor]



2.4 Nasákavost

2.4.1 Princip metody

Nasákavost je definována jako schopnost materiálu přijímat vodu a vyjadřuje se v hmotnostních procentech, jako poměr přijatého hmotnostního množství kapaliny k hmotnosti vysušeného vzorku.

Nasákavost je dána vztahem:

$$N = \frac{m_N - m_S}{m_S} \times 100$$

kde:

m_Nhmotnost nasáklého vzorku [g]

m_Shmotnost vysušeného vzorku vzorku [g]

2.4.2 Příprava vzorků pro zkoušku

Pro zkoušku nasákavosti byly odebrány vzorky ze 4 vláknocementových vlnitých desek. U desek A a B bylo předem zřejmé, že po provedení povrchové úpravy v podobě nabarvení akrylátovou barvou, dojde ke vzniku vad. Desky C a D nevykazovaly žádnou takovou vadu a po nabarvení těchto desek by bylo dosaženo zcela homogenního povrchu nátěru bez přítomnosti trhlinek.

Z každé desky bylo odebráno 36 vzorků, celkově tedy 144 vzorků. Vzorky byly připraveny nařezáním na kotoučové pile a následně obroušeny a zbaveny prachových částic. Vzorky byly váženy za normální laboratorní teploty, po vysušení na 105 °C do konstantní hmotnosti a po uložení ve vodě po dobu 72 hodin. Následně byla stanovena nasákavost za normální laboratorní teploty a nasákavost po vysušení vzorků na 105 °C.

2.4.3 Vyhodnocení zkoušky nasákavosti

Rozdíly mezi výsledky nasákavosti vzorků při laboratorní teplotě činí cca 2 %. Rozdíly výsledků nasákavosti vzorků po vysušení jsou minimální, hodnota činí cca 0,74 %. Dosažená hodnota je příliš malá, a proto byla navržena příprava nových vzorků, které byly tentokrát odebrány z již připravených vzorků z nejkritičtějších míst.

2.5 Změna vlhkosti při zahřívání

Sušení je fyzikální děj, při kterém se působením tepla snižuje obsah vody či jiné kapaliny v látkách, aniž by se měnilo jejich chemické složení. Tento proces může probíhat u tuhých, kapalných i plyných látek. Nejčastěji se sušením odstraňuje vlhkost z pevných látek. Vlhkost představuje v materiálu nežádoucí příměs, která může ovlivňovat nejen jeho fyzikální vlastnosti, ale také stabilitu a řadu chemických reakcí.

Změnou vlhkosti při zahřívání se rozumí úbytek hmotnosti v procentech, který vznikne, suší-li se přesně odvážené množství látky zvoleným způsobem. Při této zkoušce byly vzorky sušeny na teplotu 110 °C po dobu 2 hodin.

2.6 Optická mikroskopie

2.6.1 Princip metody

Optická mikroskopie je v oblasti analýz silikátových materiálů vhodnou metodou zejména pro studium jejich textury a fázového složení. Optická mikroskopie se velmi efektivně uplatňuje například při studiu vztahů mezi složením a vlastnostmi analyzovaných materiálů, při sledování procesů krystalizace, rozpouštění, reakce mezi fázemi, ale též například pro stanovení velikosti částic, identifikaci pórů v materiálech atd.

Základem mikroskopu jsou čočky, které tvoří objektiv a okulár. Okuláry a objektivy jsou často výměnné. Jednoduchý mikroskop je složen ze dvou spojných soustav čoček,

kteřé mají společnou optickou osu. Část mikroskopu, která je nazývána objektiv, má malou ohniskovou vzdálenost. Pozorovaný předmět se umísťuje blízko před předmětové ohnisko, takže vzniká skutečný, zvětšený a převrácený obraz. Tento obraz vzniká mezi druhou částí mikroskopu, tzv. okulárem, a jeho předmětovým ohniskem. Vzniklý obraz pak pozorujeme okulárem podobně jako lupou, čímž získáváme další zvětšení. Ohnisková vzdálenost okuláru se pohybuje v řádech centimetrů. Obrazové ohnisko objektivu a předmětové ohnisko okuláru nesplývají, ale jsou od sebe vzdáleny o hodnotu optického intervalu, jehož hodnota se u mikroskopu pohybuje mezi 15 cm a 20 cm. Pro úhlové zvětšení mikroskopu platí vztah:

$$Z = \gamma \gamma_0 = \frac{\Delta}{f} \frac{d}{f_0},$$

kde:

γ a γ_0zvětšení objektivu a okuláru

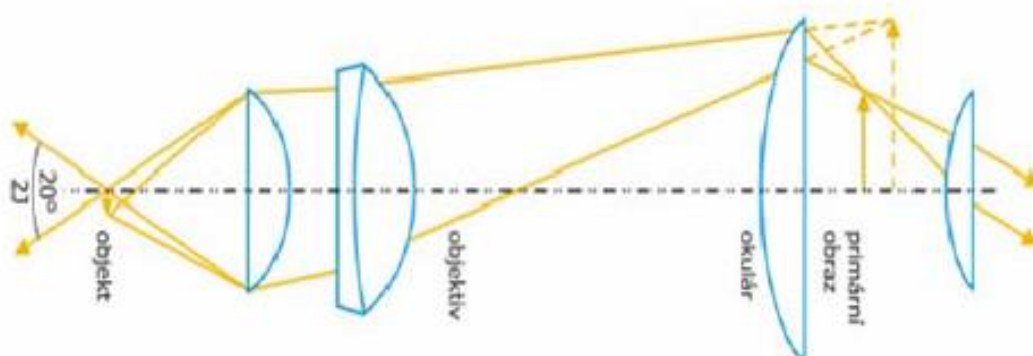
fobrazová ohnisková vzdálenost objektivu

f_0předmětová ohnisková vzdálenost okuláru

Δoptický interval mikroskopu

dkonvenční zraková vzdálenost ^[35]

Obr. 21: Schéma optického mikroskopu ^[35]



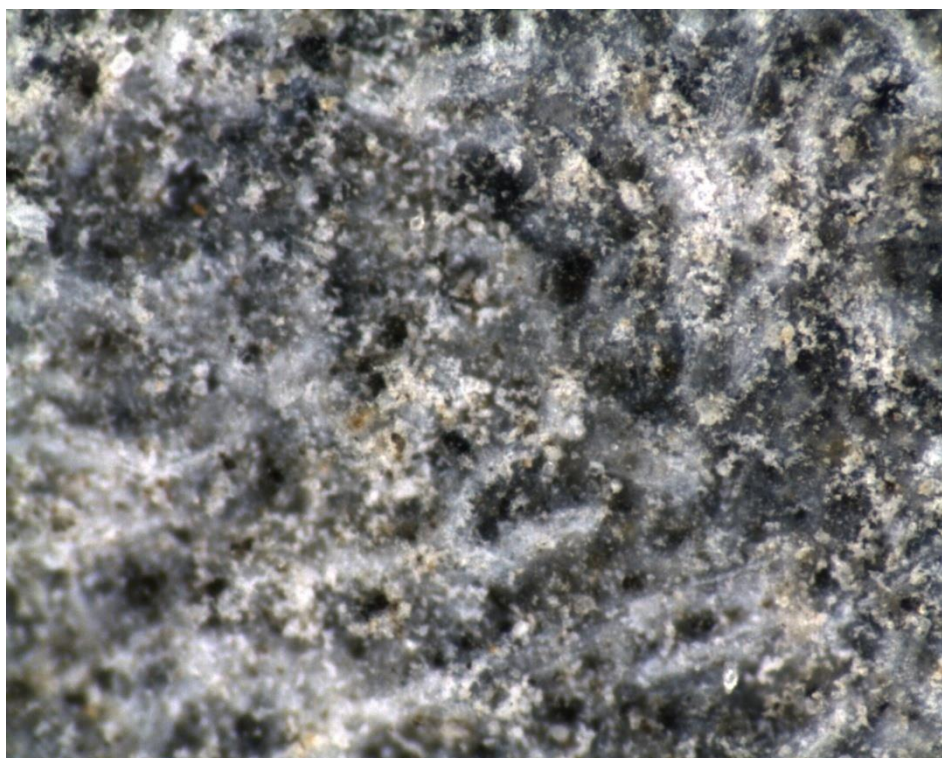
2.6.2 Příprava vzorků pro zkoušku

Vzorky pro optickou mikroskopii byly připraveny vyřezáním z vláknocementových vlnitých desek. Vzorky byly připraveny z vláknocementových desek, na kterých se po nabarvení projevují vady a z desek, které po nabarvení nevykazují vady.

2.6.3 Vyhodnocení zkoušky

Při prohlížení vzorků pod optickým mikroskopem měla být sledována rozdílnost povrchů vzorků, zejména přítomnost trhlin (různé množství a různé velikosti) a nehomogenit. Jednotlivé snímky jsou zobrazeny níže a nevykazují žádné odlišnosti mezi vzorky, které jsou v pořádku, a které budou po aplikaci barvy vykazovat vady.

Obr. 22: Povrch vláknocementové desky bez vad ^[autor]



2.7 Elektronová mikroskopie

2.7.1 Princip metody

Elektronová mikroskopie umožňuje sledovat mikrostruktury analyzovaných materiálů při zvětšení a rozlišení, jež se vymyká možnostem optického mikroskopu. Elektronová mikroskopie pracuje na odlišném principu, než mikroskopie optická. Principiálně lze rozlišit dvě koncepce elektronové mikroskopie, které se vzájemně liší konstrukčním uspořádáním přístrojů a částečně též přípravou vzorků. Jedná se o:

- elektronovou transmisní mikroskopii (TEM)
- elektronovou rastrovací (skenovací) mikroskopii (REM, SEM)

Při analýze jednotlivých vzorků byla používána metoda SEM, proto je následně popsán princip této metody.

Rastrovací elektronový mikroskop se zásadně liší od elektronového prozařovacího mikroskopu způsobem zobrazení. V transmisním elektronovém mikroskopu se vytváří celý elektronový obraz najednou. V rastrovacím elektronovém mikroskopu se jednotlivé body předmětu zobrazují časově po sobě, bod po bodu, řádek po řádku a skládají se pak ve výsledný obraz.

Rastrovací elektronové mikroskopy mají větší hloubku ostrosti, jsou velmi výhodné pro pozorování materiálů s velmi členitým povrchem, ze kterých lze jen nesnadno až těžce snímat otisky a připravit fólie prostupné pro TEM.

Elektronový paprsek upravený do jemného svazku je u REM voděn vychylovacím systémem po povrchu zkoumaného vzorku. Detektory potom zachycují sekundární elektrony buzení ionizací valenčních sfér atomů po dopadu primárních elektronů. Na základě různého excitačního proudu vzniká obraz povrchu vzorku, jehož kontrast je určen výtěžkem elektronů odražených (sekundárních) na jednotlivých detailech vzorku.

Primární paprsek dopadající na povrch vzorku vytváří v místě dopadu ve vzorku prostor, v němž dochází k interakci elektronů s hmotou. Tato interakce je zdrojem různých signálů, které jsou dále snímány a analyzovány, jako např:

- sekundární elektrony, odražené elektrony, Augerovy elektrony,
- absorbované elektrony ve vzorku,
- prošlé elektrony vzorkem,
- charakteristické RTG záření,
- fotony. ^[35]

2.7.2 Příprava vzorků pro zkoušku

Vzorky pro elektronovou mikroskopii byly připraveny vyřezáním z vláknocementových vlnitých desek. Vzorky vláknocementového materiálu jsou elektricky nevodivé, podobně jako většina silikátových materiálů. Pokud by byl pro analýzu použit nevodivý materiál, vyvolával by při SEM analýze svazek primárních elektronů po dopadu na vzorek kumulaci elektrického náboje, a proto by nemohlo dojít ke snímání finálního obrazu. Z tohoto důvodu bylo nutné elektricky nevodivé vzorky před analýzou upravit. Vzorky byly upraveny tak, že se pokryly filmem vodivého materiálu (tzv. pokovování). Vzorky byly pokovovány tenkou vrstvičkou zlata. K úpravě vzorků pro SEM analýzu byl použit speciální přístroj tzv. „naprašovačka“, kdy byl analyzovaný vzorek ve vakuu pokryt vrstvičkou vodivého materiálu. Poté byl pokovovaný vzorek upevněn na nosič, ve kterém byl vložen do komory mikroskopu.

2.7.3 Vyhodnocení zkoušky

Na vyobrazených snímcích nejsou pozorovány žádné zásadní odlišnosti mezi povrchy vzorků, kde se po aplikaci barvy projevují vady a na vzorcích, které nevykazují po aplikaci barvy žádné vady. Proto bylo v následujícím postupu výzkumu navrženo detailní prohlédnutí jednotlivých povrchů a byla provedena kvantifikace trhlin a nehomogenit.

Z vyjádřených výsledků je patrné, že mezi jednotlivými vzorky nejsou zřejmé výraznější rozdíly v počtu poruch. Povrchy těchto vzorků jsou téměř totožné a výsledky této zkoušky tak nepotvrzují teorii možných příčin vzniku vad, ke které bylo dospěno u zkoušek nasákavosti a změny vlhkosti při zahřívání. Je třeba brát v úvahu nejen počet trhlin a nehomogenit, ale také jejich šířku, délku a hloubku v povrchu vzorku.

Část B – Přídržnost nátěrové hmoty

V této části práce byla řešena problematika hodnocení kvality povrchových úprav vláknocementové krytiny. Kvalita povrchové úpravy je posuzována vizuálně na vybraných paletách výrobků. Jednotlivé desky jsou přebírány pracovníky výstupní kontroly a jsou na nich stanovovány nedostatky v provedené povrchové úpravě. Mezi tyto nedostatky patří například přítomnost tvrdých kusů, trhlin. Při zjištění jakékoliv vady je vláknocementová deska vyřazena do „zmetků“ a nahrazena deskou, která nevykazuje žádné poruchy v provedené povrchové úpravě.

V rámci výstupní kontroly je prováděna zkouška přídržnosti povrchové úpravy pomocí lepicí pásky. Princip této zkoušky spočívá v nalepení lepicí pásky na předem určená místa na desce a následné odtrhnutí pásky.

Vyhodnocení této zkoušky spočívá v odtrhnutí lepicí pásky a určení množství a rozmístění odtržené barvy s následným porovnáním dle daného klasifikačního stupně. V ideálním případě na lepicí pásce nejsou známky odtržené barvy, poté je možné přídržnost prohlásit za vyhovující.

Obr. 38: Vyhovující výsledek zkoušky přídržnosti [foto autor]

TEST S LEPÍCI PÁSKOU						F-LI 2016-01-01	
Jméno:	Zařízení:	Typ:	Barva:	Datum:	Směna:	Čas:	
Klasifikace	Označení na rubu desky:	Vyražené výrobní číslo desky: KRAJNÍ VLNA					
Klasifikace	BOK 1						
Klasifikace	BOK 2						
Klasifikace	UŽLABI						
Klasifikace	VRCHOL						
Cembrit CZ, a.s. - závod Šumperk							

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo věnovat pozornost vláknocementovým vlnitým deskám, zejména vadám, které vznikají při barvení těchto desek. V teoretické části práce jsem se snažil popsat vstupní suroviny, technologie výroby, vlastnosti a povrchové úpravy vlnitých vláknocementových desek. Dále jsou v práci popsány normativní požadavky na vláknocementové výrobky.

Praktická část práce byla rozdělena na dvě části, v nichž byla řešena problematika vznikajících poruch při barvení vláknocementových desek a nedostatečná přídržnost povrchové úpravy. Pro zjištění příčiny vad byla provedena řada zkoušek, které byly rozděleny do tří kategorií. První kategorii zkoušek tvoří fyzikálně – chemické zkoušky, mezi které patří rentgenová difrakční analýza, diferenční termická analýza a infračervená spektroskopie. Mezi prováděné fyzikálně – mechanické zkoušky patří změna vlhkosti při zahřívání a nasákavost. Posledním souborem prováděných zkoušek jsou zkoušky optické, které jsou zastoupeny optickou mikroskopií, elektronovou mikroskopií a zkouškou kvantifikace trhlin a nehomogenit.

Veškeré konkrétní výsledky a vyhodnocení měření a zkoušek, včetně záznamů z měření a fotografická dokumentace jsou uvedeny v neveřejné verzi diplomové práce.

Seznam použité literatury:

- [1] Ing. LENKA BODNÁROVÁ, Ph.D.; *Kompozitní materiály*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno 2007
- [2] BÁRTA RUDOLF; *Chemie a technologie cementu*, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1961
- [3] prof. Ing. ADOLF BAJZA, Ph.D., doc. Ing. ILDIKO ROUSEKOVÁ, Ph.D.; *Technologia betonu*, Bratislava 2006, ISBN 80-8076-032-2
- [4] doc. Ing. LUBOŠ SVOBODA, CSc. a kolektiv; *Stavební hmoty*, Praha 2013, ISBN 978-80-260-4972-2
- [5] prof. Ing. MARCELA FRIDRICHOVÁ CSc. ; *Přednášky maltoviny II*, Brno 2013
- [6] COOLEPARDI M. ; *Moderní beton*, Informační centrum ČKAIT, s.r.o., Praha 2009, ISBN 978-80-87093-75-7
- [7] Doc.Ing. RUDOLF HELA CSc.; *Technologie betonu*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno 2005
- [8] Norma ČSN EN 196-1, Metody zkoušení cementu - Část 1: Stanovení pevnosti, Český normalizační institut, Praha 2005
- [9] Materiály poskytnuté firmou CEMBRIT a.s.; prezentace *Fibre-cement school*, Šumperk 2014
- [10] DUCHÁČEK V.; *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, VŠCHT Praha, Praha 2006, ISBN 80-7080-617-6
- [11] A. NOUSHINI, B. SAMALI, K. VESSALAS; *Effect of polyvinyl alcohol (PVA) fibre on dynamic and material properties of fibre reinforced concrete*, přístupné z URL < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007654> > říjen 2014
- [12] Soubor PDF. T. HORIKOSHI, A. OGAWA, T. SAITO, H. HOSHIRO; *Properties of polyvinylalcohol fiber as reinforcing materials for cementitious composites*, 2006, přístupné z URL < <http://www.engin.umich.edu/doc/HawaiiPapers/B/Horikoshi-Properties.pdf> > říjen 2014
- [13] Doc.Ing. RUDOLF HELA CSc.; *Technologie betonu II*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno 2007
- [14] Ing. JAN VANĚREK Ph.D. A KOLEKTIV; *Kovové a dřevěné materiály*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno 2006

[15] prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc., MBA; *Plastické látky*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno 2007

[16] IVAN SLÁVIK; *Celulóza a jej chemické spracovanie*, Slovenská Akadémia Vied, Bratislava 1953

[17] R. JARABOA, E. FUENTEA, M.C. MONTEA, H. SAVASTANO, P. MUTJEC, C. NEGROA; *Use of cellulose fibers from hemp core in fiber-cement production. Effect on flocculation, retention, drainage and product properties*, přístupné z URL < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669012000969> > říjen 2014

[18] T. MELICHAR, D. PROCHÁZKA; *Studium vlivu jemnozrnných příměsí z alternativních zdrojů na fyzikálně-mechanické parametry HSC*, Beton TKS, červen 2011

[19] PIERRE-CLAUDE AITCIN; *Vysokohodnotný beton*, Edice betonové stavitelství, Praha 2005, ISBN 80-86769-39-9

[20] Internetové stránky Technické univerzity v Berlíně, přístupné z URL < <http://www.baustoffe.tu-berlin.de/menue/forschung/> > září 2014

[21] P.SVOBODA, J. DOLEŽAL; *Průmyslové podlahy a podlahy v objektech pozemních staveb*, Nakladatelství JAGA group Bratislava, 2007, ISBN 978 – 80 – 8076 – 054 – 0

[22] M. BOUASKER, P.MOUNANGA, P. TURCRY, A. LOUKILI, A. KHELIDJ; *Chemical shrinkage of cement pastes and mortars at very early age: Effect of limestone filler and granular inclusions*, Cement and Concrete Composites, přístupné z URL < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946507001102> > listopad 2014

[23] OPRAVILOVÁ, L., STANĚK, T., KUBÁTOVÁ, D., VŠIANSKÝ, D.; *Vliv přísady na užitné vlastnosti cementových kompozitů*

[24] Soubor PDF. TONY COOKE M.APP.SC, M.R.A.C.I., M. A. I. CH. E.; *Formation of Films on Hatschek Machines*, Building Materials and Technology Pty Ltd. Australia, přístupné z URL < <http://www.fibreconsulting.com> > listopad 2014

[25] Materiály poskytnuté firmou CEMBRIT a.s.

[26] LUC VAN DER HEYDEN; *Technical specifications of matrix raw materials for Hatschek technology based fibre-cement – A pragmatic approach*, přístupné z URL < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061809002955> > říjen 2014

[27] Soubor PDF. J. DROTTNEROVÁ, M. FRANK, J. JANČOVÁ, P. TIHLAŘÍK, L.LEJSEK; *Extruze vláknocementu – vývoj moderní technologie prefabrikace ve Výzkumném ústavu stavebních hmot, a.s.*, přístupné z URL < <http://vustah.cz/2008/drottnerova> > září 2014

- [28] Soubor PDF. A. LAJČÍKOVÁ, M. HORNYCHOVÁ; *Azbest v ovzduší a legislativní zajištění ochrany zdraví*, Státní zdravotní ústav Praha, přístupné z URL < <http://www.khszlin.cz/doc/pp2.pdf> > říjen 2014
- [29] Technický list vlnité vláknocementové krytiny, přístupné z URL < www.cembrit.cz > listopad 2014
- [30] Norma ČSN EN 494, Vláknocementové vlnité desky a tvarovky – Specifikace výrobku a zkušební metody
- [31] L. LUKAVSKÝ, S. BOUŠKA, V. FIALA; *Katalog nátěrových hmot*, Barvy a laky, národní podnik, Praha 1974
- [32] E. HARTMAN, L. LUKAVSKÝ, Ing. B. SVOBODA CSc.; *Povrchové úpravy nátěrovými hmotami v nábytkářském průmyslu*, Praha 1988
- [33] Doc. Ing. J. JARUŠEK CSc.; *Technologie nátěrových hmot*, Vysoká škola chemicko-technologická v Pardubicích, Pardubice 1987
- [34] doc. Ing. JIŘÍ BYDŽOVSKÝ, CSc.; *Technologie sanace*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno 2007
- [35] Ing. AMOS DUFKA Ph.D., Ing. JAN NOVÁK; *Laboratorní experimentální metody*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno 2007
- [36] Infračervená spektroskopie, VŠCHT Praha, článek, přístupné z URL < <http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm> > listopad 2014

Použité zkratky

PVA	polyvinylalkohol
PP	polypropylen
RTG	rentgenová difrakční analýza
DTA	diferenční termická analýza
IR	infračervená spektroskopie
TEM	elektronová transmisní mikroskopie
REM (SEM)	elektronová rastrovací (skenovací) mikroskopie